

# **Análisis de la susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios mediante Índice de Diferencia Normalizada de Humedad (NDMI) y clasificación del IDEAM: caso de estudio subregión Bajo Sinú – Córdoba.**

**Juan David Mejía Cogollo**

**Resumen:** los incendios son unos de los problemas que está afectando la cobertura vegetal y que toma mayor relevancia hoy día, es por ello que la presente investigación tiene por objetivo determinar la susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal en la subregión del Bajo Sinú del departamento de Córdoba. Para lo cual se implementaron dos procedimientos: el primero soportado en la teledetección geográfica satelital, haciéndose uso de operaciones multibandas y la clasificación digital de imágenes de satélite. El segundo se asocia a las directrices establecidas en el Protocolo de incendios del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) aplicado a coberturas a escala 1:100.000. Ambos con el fin de determinar la susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal. Los resultados muestran que se obtuvo a través del Índice de Diferencia Normalizada de Humedad (NDMI) se determinó la existencia de estrés hídrico que existe en la vegetación en épocas de sequía. Mientras que, el protocolo de incendios del IDEAM dio como resultado en el área de estudio una susceptibilidad de categoría moderada, alta y muy alta para las coberturas vegetales. Se concluye que, ambos procedimientos (cálculo del índice y metodología del IDEAM) determinan la susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal. Es por ello que se necesita hacer monitoreo de muchos aspectos entre ellos el de la susceptibilidad a este fenómeno, que gracias a los avances tecnológicos la teledetección satelital nos brinda la posibilidad de estudiar dicho fenómeno periódicamente.

**Palabras claves:** vulnerabilidad, incendio, NDMI, cobertura vegetal, ambiente.

**Summary:** fires are one of the problems that is affecting plant cover and that is becoming more important today, that is why the present research aims to determine the susceptibility to fires of plant cover in the subregion of Bajo Sinú in the department of Córdoba. Two procedures were implemented: the first supported in satellite remote sensing, using multi-band operations and the digital classification of satellite images. The second is associated

with the guidelines established in the Fire Protocol of the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM) applied to 1:100,000 scale coverage. Both in order to determine the susceptibility to fire of the plant cover. The result obtained is that through the Normalized Moisture Difference Index (NDMI) the existence of water stress that exists in the vegetation in times of drought was determined. Meanwhile, the IDEAM fire protocol resulted in a moderate, high and very high category susceptibility to plant cover in the study area. It is concluded that both procedures (calculation of the IDEAM index and methodology) determine the susceptibility to fires of the plant cover. That is why there is a need to monitor many aspects, including susceptibility to this phenomenon, which, thanks to technological advances, satellite remote sensing gives us the possibility to study this phenomenon periodically.

**Keywords:** vulnerability, fire, NDMI, plant cover, environment

## **Introducción**

Desde los inicios de la percepción remota, esta disciplina ha tenido un rol importante para la elaboración de investigaciones sobre los fenómenos naturales y antrópicos que conforman la superficie terrestre, ha permitido el estudio, monitoreo y predicciones de sucesos naturales. Es una herramienta utilizada de manera transversal en los estudios geográficos para tener una aproximación en el análisis y clasificación de los diferentes estudios que con ella se logran realizar. Este enfoque integrado convierte a la geografía en una disciplina idónea para el estudio de los procesos globales, cada vez más protagonista en las investigaciones del medio ambiente de los últimos años (Chuvieco, 1992).

Los incendios en la vegetación cada vez están tomando mayor relevancia a causa del calentamiento global que trae como consecuencias cambios en el medio natural, entre ellos las afectaciones a la cobertura vegetal. Las temperaturas altas y las sequías influyen directamente sobre la humedad y la disponibilidad de combustible, los aumentos de desecación en la vegetación y por lo tanto un acrecimiento de su inflamabilidad, lo que hace una zona susceptible a incendios. Al respecto Giglio, L. et al (2010) afirma que los incendios forestales afectan 330 a 431 millones de hectáreas de vegetación global cada año. Con relación al caso, alrededor del 86% de los incendios forestales ocurren en praderas tropicales y sabanas, y el 11% en bosques (Mouillot, F. y Field, C., 2005).

Los fenómenos meteorológicos y climáticos inciden sobremanera en los incendios forestales. La sequía aumenta en gran medida el riesgo de que se genere en la mayoría de las regiones de bosques, e influye particularmente en una larga duración. “Este fenómeno es causante de las tres mayores pérdidas económicas de las que se tiene registro que han ocurrido durante los últimos cuatro años a nivel mundial” (Organización Meteorológica Mundial, 2019). Considerando el factor anterior, es importante mencionar que el fuego es un proceso fisicoquímico que necesita un material combustible, la presencia de oxígeno y una fuente de calor. Puede ser originado por fenómenos naturales derivados de eventos meteorológicos, y en la gran mayoría por la acción humana (Renata, J. y Gracia, M., 1998).

La susceptibilidad a los incendios de la vegetación es una problemática que perturba en general el entorno natural, causando grandes daños en la superficie vegetal, estos están caracterizados principalmente por su difícil detección o predicción, que depende en gran medida de factores mencionados anteriormente como las altas temperaturas y las altas sequías.

En ese sentido, la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura FAO, (2007) destaca que los países de América Latina los incendios de la cobertura vegetal son un problema grave, en primer lugar por la destrucción de sus recursos naturales y el impacto que esto genera en la economía, además los incendios de la cobertura vegetal no afectan de igual forma a todos los países, y esto se debe a las diferencias climáticas, fisiográficas, sociales y hasta económicas.

Estos incendios modificaran las distribuciones espaciales en los componentes fisicobiótico y socioeconómico, produciendo conflictos tanto en la relación sociedad-naturaleza como en cada uno de estos componentes. En efecto, el cambio climático expresado en la modificación de la temperatura media, la precipitación anual, la humedad relativa y la escorrentía afecta directamente los ecosistemas, la salud humana, el agua y los alimentos; por tanto, perturbará el patrón de los fenómenos meteorológicos extremos que recurrentemente generan desastres en una región en específica. En esta nueva situación estarán expuestos diversos actores de la población, la infraestructura y los procesos socioeconómicos del territorio (Alarcón, J. y Pablón, J. 2013).

En cierto modo, la cobertura vegetal es una de las principales afectadas por las altas temperaturas y, con el paso del tiempo, son más las afectaciones que repercuten en ella y sobre los ecosistemas que conforman. Las temperaturas van en aumento, las épocas de sequía cada vez son más extensas y golpean fuertemente la zona tropical, la humedad presente en coberturas vegetal es la fundamental y la que impide que se generen incendios sobre esta. Al respecto el autor Parra, A. et al, (2011, p.25) menciona que el “calor induce la caída del follaje de las plantas y su resecación por baja humedad, y por consiguiente incrementa la disponibilidad de combustible para la reaparición del fuego”. A su vez Arellano (2001, citado por IDEAM 2002 p.10) menciona que “en la actualidad cuanto más se prolonga los períodos secos y esto sumado a que los bosques hoy en día están aún más intervenidos, mayores son los daños ocasionados por los incendios forestales”.

En Colombia los incendios de la cobertura vegetal han sido recurrentes cada año e incrementa su ocurrencia en las temporadas en las que se presenta el fenómeno del Niño. En las décadas de los 70's y 80's no se tuvo un registro juicioso sobre estos eventos, pero para el año 1991 se comenzó a llevar una gestión mucho más disciplinada en cuanto a recolectar datos sobre las regiones y consolidarlos a nivel nacional (Gómez, A., 2009). Sin embargo, existen varios factores que favorecen los incendios forestales, la quema de rastrojos, basuras, cosechas para cambio de uso del suelo, que generan procesos de erosión y degradación de la capa vegetal (Hernández, B. 2019).

Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2011) menciona que “del 2002 al 2010 la superficie afectada en Colombia por incendios forestales fue de 377.403 hectáreas”. Y las regiones con mayor susceptibilidad a incendios en el territorio nacional son la región del Orinoco y el Caribe con una susceptibilidad de categoría muy alta y alta, al igual que departamentos de la región Andina como Huila y El Tolima. Del resto se encuentran en una categoría alta y moderada”.

En Córdoba los incendios forestales se presentan en mayor medida en las subregiones del medio Sinú, y bajo Sinú, generalmente están relacionadas a prácticas de quemas sin ningún control y las sequías que se presentan en mayor medida en la subregión del bajo Sinú y sabana. (Gobernación de Córdoba., s.f).

Ahora bien, el departamento de Córdoba está conformado por cobertura de pastizales en su gran mayoría donde se realiza la actividad ganadera, también se encuentran zonas de cultivos transitorios como el maíz, algodón, yuca, arroz; además, hay coberturas de matorrales, bosques de galería y manglares, entre otros. Méndez, G., (2020) menciona que las fuertes sequías de principio de año han estado golpeando fuertemente el departamento y con ello las probabilidades de ocurrencias de incendios en la vegetación. Destaca que las altas temperaturas y también algunas prácticas inadecuadas en la parte agropecuaria, que llevan a generar este tipo de alerta para que las comunidades tomen las prevenciones del caso. Finalmente agrega que durante el 2019 más de 300 hectáreas de bosques se vieron afectadas por incendios forestales en Córdoba. Los municipios con mayores emergencias fueron los del Alto Sinú.

Con base a lo anterior, la presente investigación tiene por objetivo determinar la susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal en la subregión del Bajo Sinú del departamento de Córdoba. Mediante la aplicación del índice NDMI que consiste en establecer el contenido de humedad de la vegetación y los niveles de combustible en las áreas vulnerables a los incendios. También, en consideración a las directrices y procedimientos establecidos en el protocolo de incendios del IDEAM que permiten ponderar factores como, tipo de combustible, duración de combustible y carga por combustible.

La identificación y el análisis de las zonas vulnerables a incendiarse en el territorio nacional y en particular la región Caribe son de gran importancia porque permite tener conocimientos de las posibles afectaciones al medio natural y en especial la cobertura vegetal y sus consecuencias en el territorio. Por lo cual, nace la necesidad de determinar la vulnerabilidad que existe en la subregión del Bajo Sinú en el departamento de Córdoba frente a este flagelo producto del aumento de las temperaturas, las fuertes sequías, el mal manejo de la cobertura vegetal y de algunas actividades antrópicas.

La determinación de esta susceptibilidad a incendios en el área de estudio a través del cálculo del NDMI permite obtener información como recurso valioso del comportamiento del fenómeno estudiado periódicamente. Además, el protocolo de incendios del IDEAM posibilita también identificar esas zonas con alta y baja susceptibilidad. Esto con el fin de conocer el fenómeno presente y así gestionarlo en virtud de mitigar los efectos que este tenga

en el territorio, por ejemplo, pérdidas de vida humana, daños irreparables en los ecosistemas, pérdidas económicas en actividades primarias puesto que es una zona donde se destaca la agricultura y la ganadería, entre otras. Por una parte, muestra la relevancia que tienen los sensores remotos en los estudios ambientales, dado a que muchos cuentan con una amplia gama en el espectro electromagnético, que permite obtener los valores de reflectancia de diferentes coberturas de la superficie terrestre que nos dan la oportunidad de estudiar, monitorear y predecir sucesos naturales. Vale la pena decir que, es importante monitorear constantemente la subregión del Bajo Sinú, puesto que las coberturas cambian en las diferentes épocas del año, el clima ha incidido a que se produzcan fuertes sequías y esto puede incrementar los incendios.

Es por ello que esta investigación en parte compara los resultados obtenidos de ambos procedimientos aplicados mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para su complementación y mejor análisis de resultados. Por otra parte, la investigación se fundamenta en la importancia de aplicar cálculos de índices para dar diagnósticos sobre el comportamiento de la vulnerabilidad que hay en épocas de sequía, en cambio la metodología propuesta por el IDEAM se enfoca en determinar la vulnerabilidad por ponderación de capas bases sin tener en cuenta las épocas de lluvias y secas en el país.

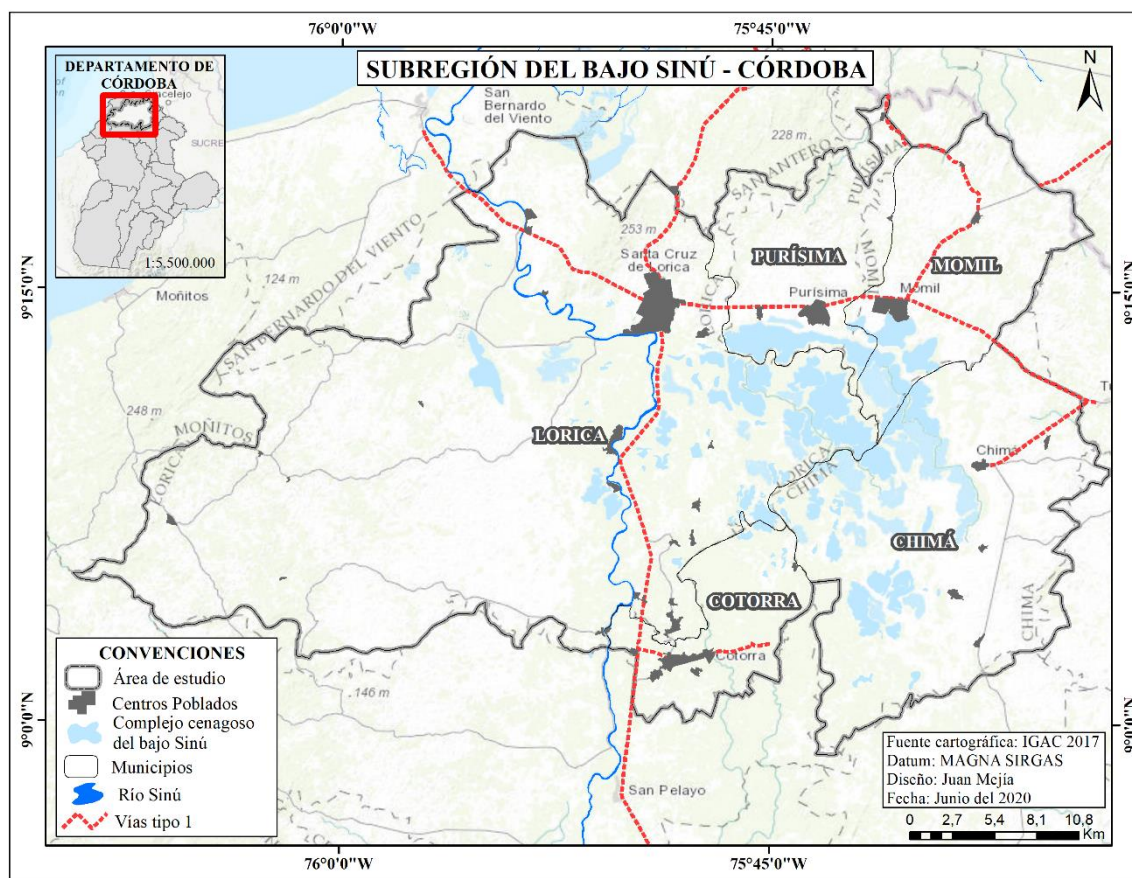
### **Área de estudio**

El presente estudio se desarrolló en la subregión del Bajo Sinú del departamento de Córdoba que posee una extensión de 1.752 km<sup>2</sup>, albergando 5 municipios como lo son: Santa Cruz de Lorica, Cotorra, Chimá, Purísima y Momil.

La fisiografía del área de estudio está abarcada por la zona planar del valle del río Sinú, que poseen elevaciones que no superan los 100 msnm, a su vez la conformación del paisaje está dada por planos de inundación, lomas y colinas. La subregión posee una oferta hídrica que la caracteriza el paso del río Sinú y un complejo de ciénaga y humedales como la Ciénaga grande de Lorica que comparte territorio con los 5 municipios mencionados, el complejo de humedales posee un área de 304,5km<sup>2</sup> y cuyos principales tributarios son los caños de Aguas Prietas, caño Bugre y caño de San Carlos.

El promedio de temperatura es de 29°C que corresponde al piso térmico cálido con precipitaciones que van entre 1000 y 2000 mm, existen dos períodos estacionales; por un lado el periodo de lluvias de seis meses comprendido entre mayo y diciembre y por otro lado periodo de sequias de diciembre a abril (CVS, 2016).

En otra descripción del área de estudio, esta está clasificada dentro de un Bosque Seco Tropical (BST) fuertemente intervenido con el 0.10% de la cobertura boscosa respecto al departamento.



*Figura 1: Localización general del área de estudio.*

*Fuente: IGAC 2017, Elaboración propia.*

## **Materiales y métodos**

El enfoque abordado en la presente investigación es de tipo cuantitativo, basado en la determinación de la susceptibilidad de incendios de la cobertura vegetal que dará a conocer

de forma aproximada mediante la aplicación de índices espectrales a través del uso de imágenes de satélite, que consiste en una operación multibanda donde se obtiene las coberturas las cuales tengan estrés hídrico. Además, se utilizan las directrices del protocolo de incendios del IDEAM el cual está basado en la ponderación de factores que definen en cinco categorías el nivel de susceptibilidad de la cobertura de la tierra. Ambos métodos utilizan datos numéricos lo cual utilizan fórmulas matemáticas para llegar a los resultados esperados.

La investigación es de tipo analítico, porque se pretende analizar y posteriormente explicar cómo se comporta el fenómeno de la susceptibilidad a incendios en la región del Bajo Sinú, a través de la aplicación de dos métodos con el fin de hacer un análisis integrado que permitan llegar a unas conclusiones específicas las cuales van a estar en función de la relación de ambos métodos aplicados.

La investigación se desarrolló en tres etapas descritas a continuación:

#### **Búsqueda y recolección de datos:**

Para obtener la cobertura vegetal fue necesario la descarga de la información de geoportales disponibles en la web. El primer insum adquirido fue la descarga de imágenes desde la interfaz EarthExplorer, herramienta de búsqueda y descubrimiento desarrollada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Se adquirieron dos imágenes Sentinel 2A con la misma temporalidad del mes de enero del día 12 del año 2020, la temporalidad es un factor importante porque permite que no haya alteraciones en los valores reflejados de la cobertura terrestre y que no se den errores al momento de la aplicación de los índices. Al mismo tiempo, se tiene el objetivo con la temporalidad de que las condiciones de la vegetación fuesen las mismas características en ambas imágenes con el fin de obtener resultados más acorde a la realidad.

Asimismo, la capa de cobertura de la tierra se adquirió desde el geoportal Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC); con la cual se aplicó el protocolo de incendios del IDEAM y obtener información de la susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal. De igual modo, se obtuvo información de cartográfica base del geoportal Datos Abiertos del



Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) con la finalidad de generar información base y dar soporte de las características espaciales del área de estudio.

En la tabla 1 se muestra la información cartográfica utilizada en el desarrollo de esta investigación, con el fin de dar soporte a los resultados obtenidos, teniendo en cuenta, las fuentes de información, temporalidad de la información, el nivel de detalle para la zona de estudio y en formato a trabajar de la información; cabe mencionar que la información son datos secundarios producidos por instituciones o entidades del gobierno.

Tabla 1: Información Cartográfica y obtención de imágenes satelitales.

<b>Información cartográfica</b>	<b>Temporalidad</b>	<b>Fuente</b>	<b>Nivel de detalle.</b>	<b>Formato</b>
S2A_MSIL1C_20200112T153611_N0208_R068_T18PUR_20200112T190036.SAFE	2020	Earth Explorer	10 m	Raster
S2A_MSIL1C_20200112T153611_N0208_R068_T18PVR_20200112T190036.SAFE	2020	Earth Explorer	10 m	Raster
Centros Poblados	2017	IGAC	1:25.000	Vectorial
Ciénagas	2017	IGAC	1:25.000	Vectorial
Cobertura de la tierra	2010-2012	IDEAM	1:100.000	vectorial
Departamentos	2017	IGAC	1:25.000	Vectorial
Drenajes Doble	2017	IGAC	1:25.000	Vectorial
Municipios	2017	IGAC	1:25.000	Vectorial
Vías	2017	IGAC	1:25.000	Vectorial

Fuente: Diseño propio.

### **Pre-procesamiento de las imágenes:**

Seguidamente, se calibraron las imágenes en el software QGIS 3.10 por el método Dark Object Substrction (DOS1) o substracción de objeto oscuro, al respecto Chávez (1996) afirma que la suposición básica es que en la imagen algunos pixeles están completamente en sobra, y sus reflectancia recibida en el satélite se deben a la dispersión atmosférica “efecto bruma”. En otras palabras una imagen de satélite está sometida a interferencia de la atmosfera. Por ello, importante al trabajar con teledetección porque permite obtener los niveles digitales a

niveles de reflectancia “corrige cada pixel que es alterado por la atmosfera” esto tendría efecto especialmente para calcular índices entre bandas.

Para realizar correcciones atmosféricas por el método DOS1.

$$L_p = L_{min} - LDO1\%$$

Donde:

- $L_{min}$  = “radiancia que corresponde a un valor digital para el cual la suma de todos los píxeles con valores digitales menores o iguales a este valor es igual al 0.01% de todos los píxeles de la imagen considerada” Sobrino, et al., (2004, p. 437), por lo tanto, la radiancia obtenida con ese valor de conteo digital (DNmin).
- $LDO1\%$  = radiancia del objeto oscuro, con un valor asumido de reflectancia de 0.01.

Cabe resaltar que, las imágenes cuentan con una resolución espacial de 10 m por pixel en la banda 8 NIR y banda 11 SWIR1 de 20m, pero el software al hacer reflectancia hace un remuestreo donde convierte un pixel de 20 m lo divide en 4 de 10 m sin embargo deja el mismo valor de los pixeles de 20 m. Lo que permitirá un análisis detallado de las coberturas terrestres y una observación certera de los valores que resulten de los índices aplicados NDMI. Ahora bien, fue necesario realizar un mosaico, puesto que, el área de estudio esta abarcada por dos imágenes de satélite, fusionando las bandas a procesar.

### **Procesamiento de la información para determinar la susceptibilidad.**

Con la información obtenida y procesada anteriormente se procesó de dos formas para la posterior determinación de la susceptibilidad de la vegetación a incendios forestales.

Por una parte, mediante el Índice de Humedad de Diferencia Normalizada que consiste en la sensibilidad de los niveles de humedad de la vegetación. Se usa para monitorizar las sequías y los niveles de combustible en las áreas vulnerables a los incendios. En pocas palabras se utiliza para determinar el contenido de agua de la vegetación (Franzpc, 2019).

Para identificar estas coberturas de vegetación con problemas de estrés hídrico bajo el índice se basa en la siguiente formula:

$$\text{NDMI} = (\text{NIR} - \text{SWIR1}) / (\text{NIR} + \text{SWIR1})$$

Lo que significa:

NIR = valores de píxel de la banda infrarroja cercana

SWIR1 = valores de píxel de la banda infrarroja de onda corta 1

En Sentinel estas serían la banda 8 y 11. La utilidad del NIR “la banda 8” la reflectancia demuestra la estructura interna de la hoja y el contenido de materia seca de la hoja, pero no por el contenido de agua, mientras que la reflectancia del SWIR “la banda 11” refleja cambios tanto en el contenido de agua de la vegetación como en la estructura esponjosa del mesófilo en las cubiertas de vegetación (Gao, B. 1996).

Después de realizar la operación de las bandas, resultaron valores entre -0,9 el mínimo y el máximo en 0,9. Para definir coberturas con estrés hídrico que sean susceptibles a incendios. Los criterios con los cuales se definieron baja humedad en la vegetación fueron los siguientes; de -1 a -0,6 representan coberturas de suelo desnudo, cubierta vegetal casi ausente y muy baja cobertura vegetal. Ahora los valores entre -0,6 a 0 son coberturas de vegetación baja con alto estrés hídrico o muy baja cubierta vegetal con bajo estrés hídrico, Cubierta vegetal media-baja con alto estrés hídrico o cubierta vegetal baja con bajo estrés hídrico, cubierta de vegetación media con alto estrés hídrico o cubierta de vegetación media-baja con bajo estrés hídrico. Mientras que, los valores entre 0 a 1 representan alta cobertura vegetal y sin estrés hídrico, cubierta vegetal de alto movimiento y sin estrés hídrico, cubierta vegetal total y sin estrés hídrico o estancamiento o nubes (Antognelli, S. 2011).

Estos criterios se reclasificaron en 3 clases, donde los valores de -0,9 a -0,6 son coberturas sin estrés hídrico, -0,6 a 0 coberturas con estrés hídrico y 0 a 1 cobertura vegetal y otras coberturas sin estrés hídrico.

Por otra parte, mediante las directrices y procedimiento del protocolo de incendios del IDEAM, para determinar las zonas susceptibles a incendios a escala 1:100.000 este se basa en las características intrínsecas de la vegetación como: carga de combustibles, disposición y combustibilidad, que le brindan cierto grado de probabilidad de incendiarse, propagar y mantener el fuego (IDEAM, 2011). Estos sumados dan como resultado las coberturas

susceptibles a incendios estableciendo 5 clases de normalización que van desde muy baja, baja, moderada, alta y muy alta susceptibilidad.

Calculo de la susceptibilidad:

$$SUSC= CAL(tc) + CAL(dc) + CAL(ct)$$

Dónde:

SUSC: susceptibilidad de la vegetación (susceptibilidad bruta)

CAL(tc):Calificación por tipo de combustible

CAL(dc):Calificación de la duración de los combustibles

CAL(ct):Calificación de la carga total de combustibles.

Seguidamente, se hace una normalización a la suma de todas las calificaciones donde los valores queden entre cero y uno mediante la siguiente formula:

$$(X-MIN) / (MAX-MIN)$$

Dónde:

X: valor que adquiere puntualmente en el espacio el factor

Min: valor mínimo del factor en toda el área de estudio

Max: valor máximo presentado por el factor en toda el área de estudio

Por último, ambos procesos para establecer la susceptibilidad a incendios se relacionan en que dan un resultado pertinente para tener conocimiento de cuáles son esas áreas vulnerables a sufrir un problema ambiental que cada vez toma relevancia en el mundo. Se diferencian en que su fuente de datos es diferente, por ejemplo; a través de los sensores remotos captan la información presente a la fecha. Mientras que, el protocolo de incendios toma la clasificación de coberturas de la tierra y le da valores numéricos en cuanto a sus indicadores de medida (tipo de combustible, duración de combustible y carga total del combustible).

Para abordar el análisis espacial de la susceptibilidad a partir de los datos obtenidos y procesados adquiridos de información secundaria, los resultados arrojados se analizarán a través de mapas que determinan las zonas vulnerables a que se genere un incendio y porcentaje de ocupación en el territorio. También un gráfico que cuantifique la cantidad de cobertura que abarca en hectáreas cada superficie vegetal presente en la zona de estudio.

Posteriormente como análisis final se mencionan consideraciones de los posibles problemas que puede traer un incendio en la cobertura vegetal desde un punto de vista geográfico.

Finalmente, se hizo necesario construir un esquema metodológico (figura 2), con el propósito de mostrar de manera contundente las fases y el desarrollo de la investigación y las técnicas e información usadas para conseguir el objetivo planteado.

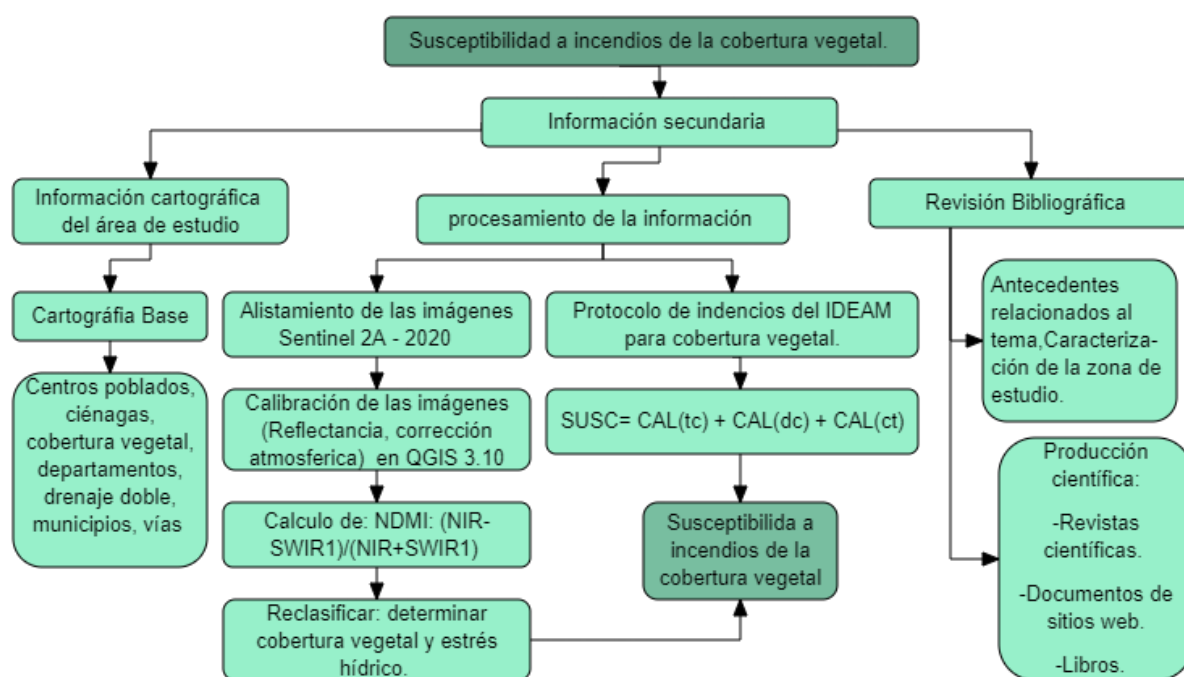


Figura 2: Esquema metodológico.

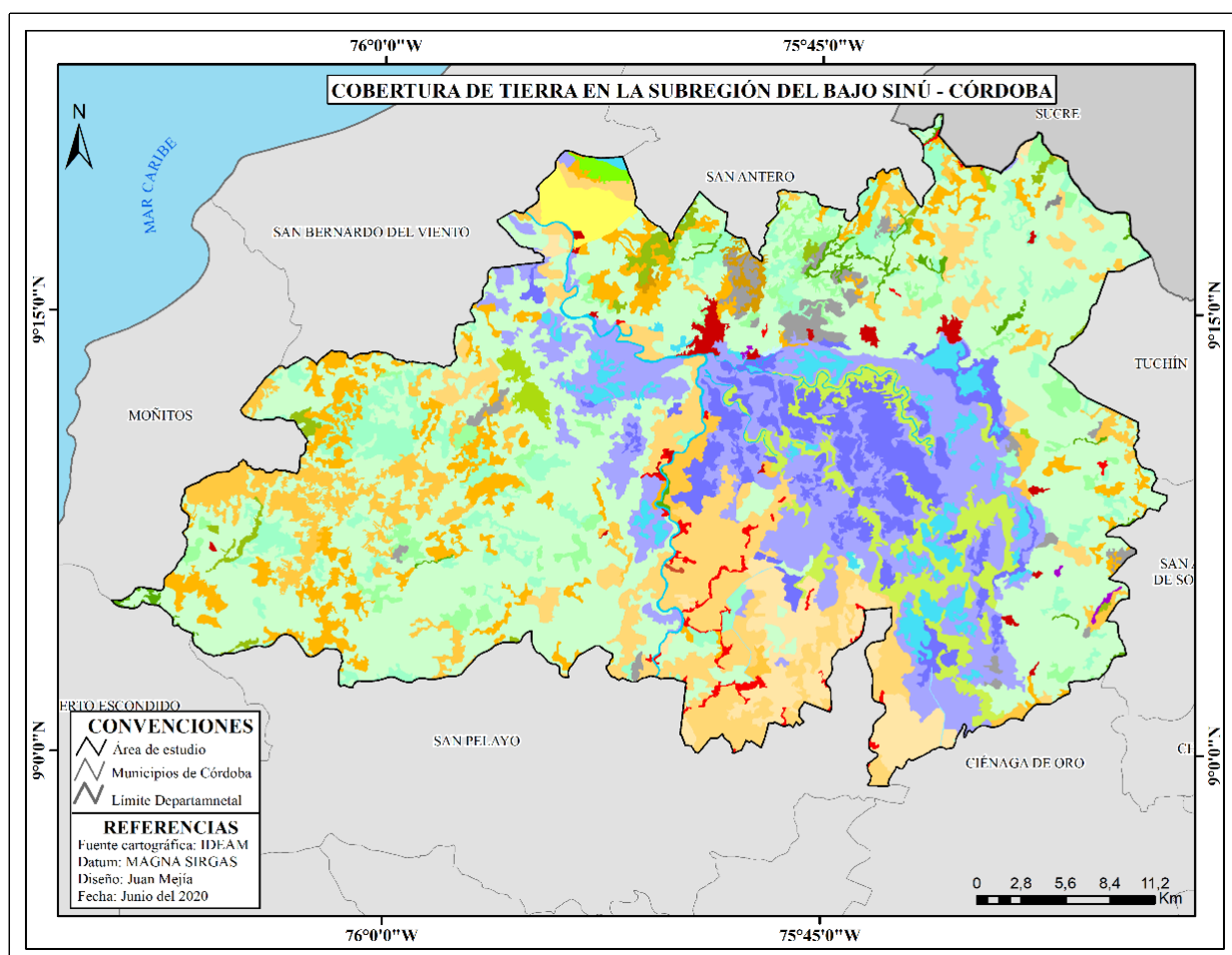
Fuente: Elaboración propia.

## Resultados

Las características de la cobertura vegetal en la subregión del Bajo Sinú se distribuyen espacialmente en el territorio diferenciados en un total de área de 159505,5 Ha y están dadas principalmente por las actividades del hombre; donde las coberturas que más predominan son pastos con 74180,8 Ha lo que corresponde a un 46,5% de ocupación del área de estudio y que son usados principalmente para actividades ganaderas, entre otros (figura 3).

Por una por parte, los mosaicos de cultivos con pastos y áreas naturales comprenden un total de 37197,2 Ha con un porcentaje de ocupación de 23,3% donde se cultivan productos

transitorios de la región como el maíz, algodón, yuca, entre otros. Por otra parte, se encuentran coberturas vegetales como cereales, bosques, arbustales, herbazales y vegetación secundaria o en transición con total de área en Ha de 10680,6 con 6,7% de cobertura (figura 4), como se representa en la (figura 5), la cobertura vegetal que más área abarca en la zona de estudio son los pastos limpios con 61972,7 Ha, seguido de mosaicos de pastos y cultivos con 14085,3 Ha y mosaicos de pastos con espacios naturales con 9225,9 Ha. Finalmente, están las coberturas que no corresponden a vegetación como territorios artificializados, áreas húmedas y superficies de agua con un total de 37446,8 Ha abarcando un 23,5% de cobertura.



*Figura 3: mapa de la cobertura de la tierra en el área de estudio.*

*Fuente: IDEAM 2010 - 2012, elaboración propia.*

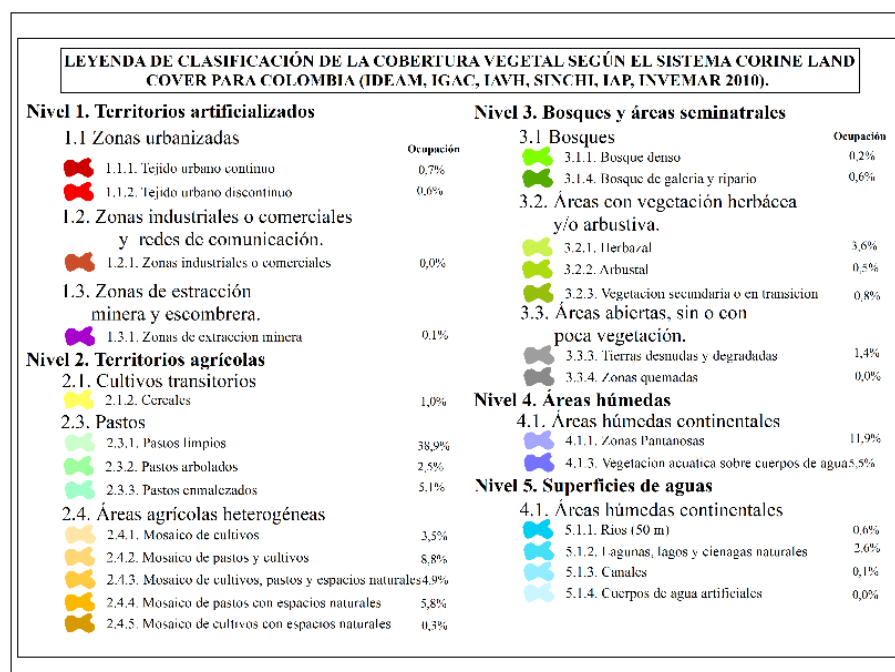


Figura 4: Leyenda de la cobertura de la tierra para la zona de estudio.

Fuente: IDEAM, CLC. 2011

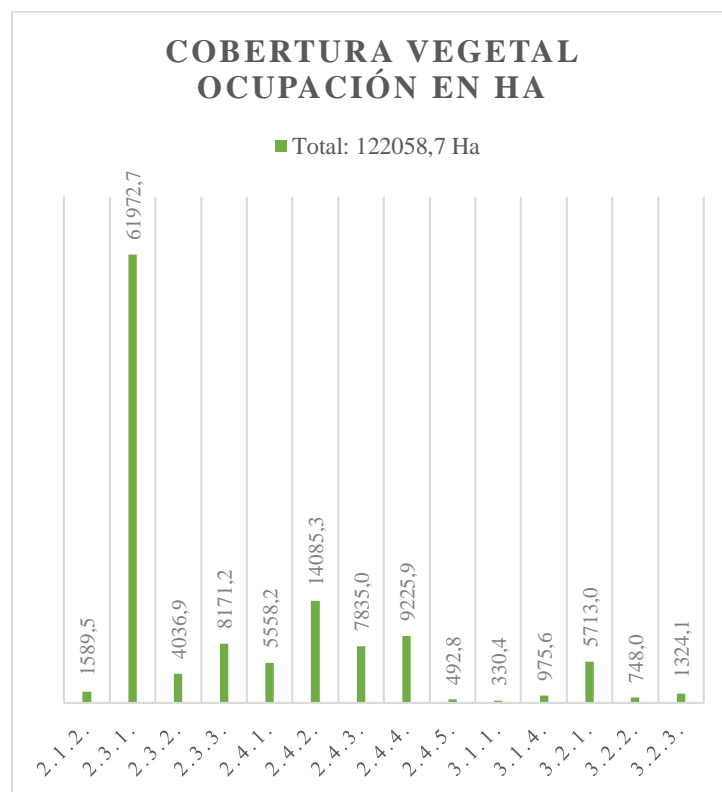


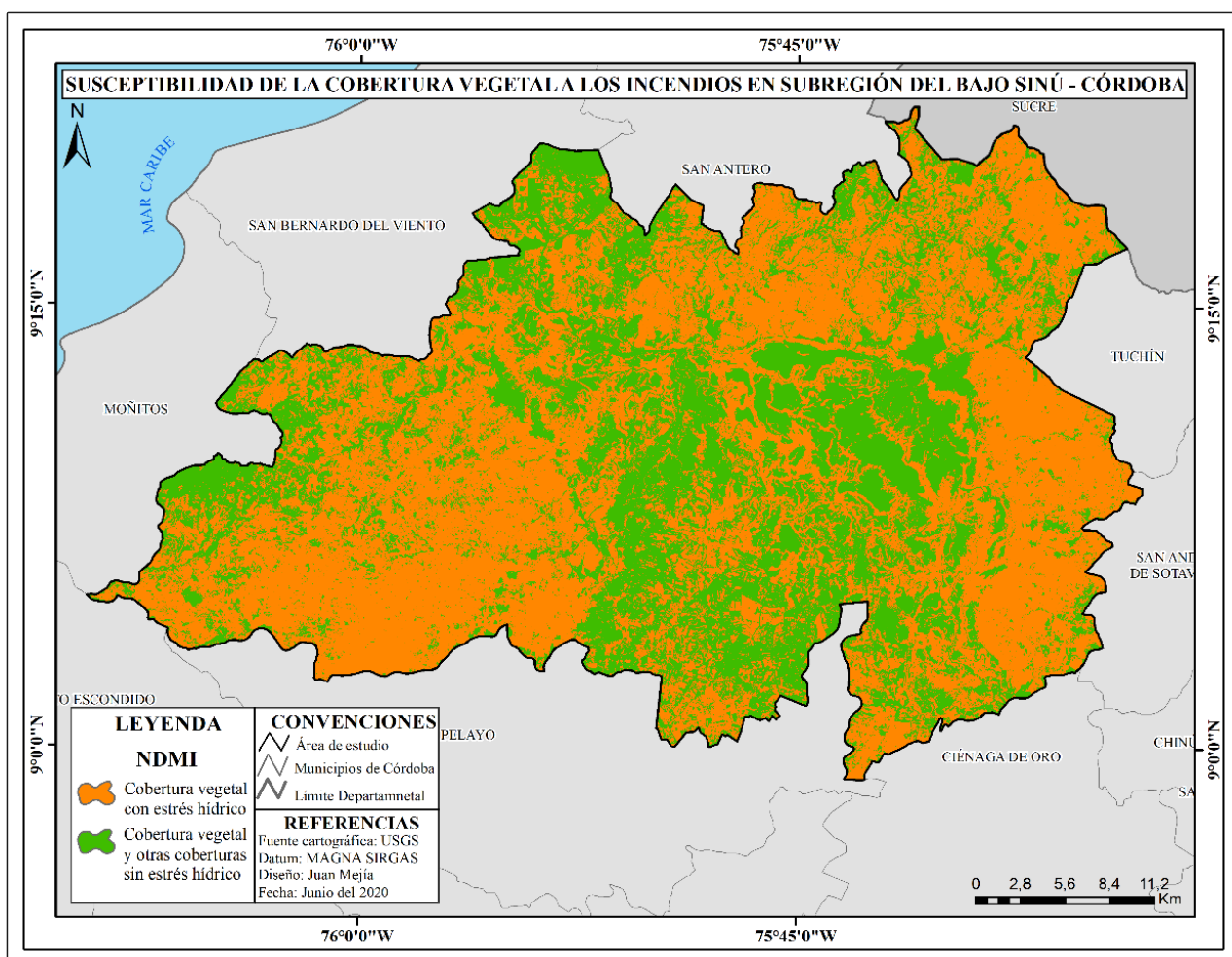
Figura 5: Grafica de la cobertura vegetal en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Las manifestaciones de incendios son un fenómeno poco casual, pero que toman relevancia por cuenta de largas sequías y altas temperaturas. El índice de diferencia de humedad normalizada identifica los niveles de humedad en la vegetación. Por ello, es importante su aplicación en épocas secas en regiones con una mayor susceptibilidad en Colombia, como lo es la región Caribe y en especial departamentos como Córdoba que cada vez está siendo golpeado con por este fenómeno. Los niveles de susceptibilidad dados por el protocolo de incendios del IDEAM (figura 8) fueron en su mayoría coberturas con alta y muy alta susceptibilidad a incendios sin importar la época de lluvia o sequía.

En cambio, el NDMI tomo el estrés hídrico de la vegetación (figura 6) en época de sequía, abarcando un área de 98362,3 Ha del área total, lo cual demuestra que las coberturas de pastos limpios, enmalezados y arbolados, los mosaicos de cultivos con pastos y espacios naturales, representan alto estrés hídrico y esto entra en un proceso donde dicha biomasa pasa a convertirse en combustibles y por ende altamente susceptibles a la generación de un incendio, no importando sí en tipo de combustible este vivo o muerto, estos pueden entrar en combustión al aplicase calor, ya que por su parte el contenido de humedad, la temperatura del lugar, la velocidad del viento y la composición química de la vegetación puedan tener diferentes grado de condición calórica y de velocidad de incendio. Es importante mencionar que el índice al tomar los valores de humedad en la vegetación y demuestre que son bajos va a tener una duración de prolongación de 1 a 10 horas de ignición, estas propiedades del combustible dependerán de su tamaño y difusividad.

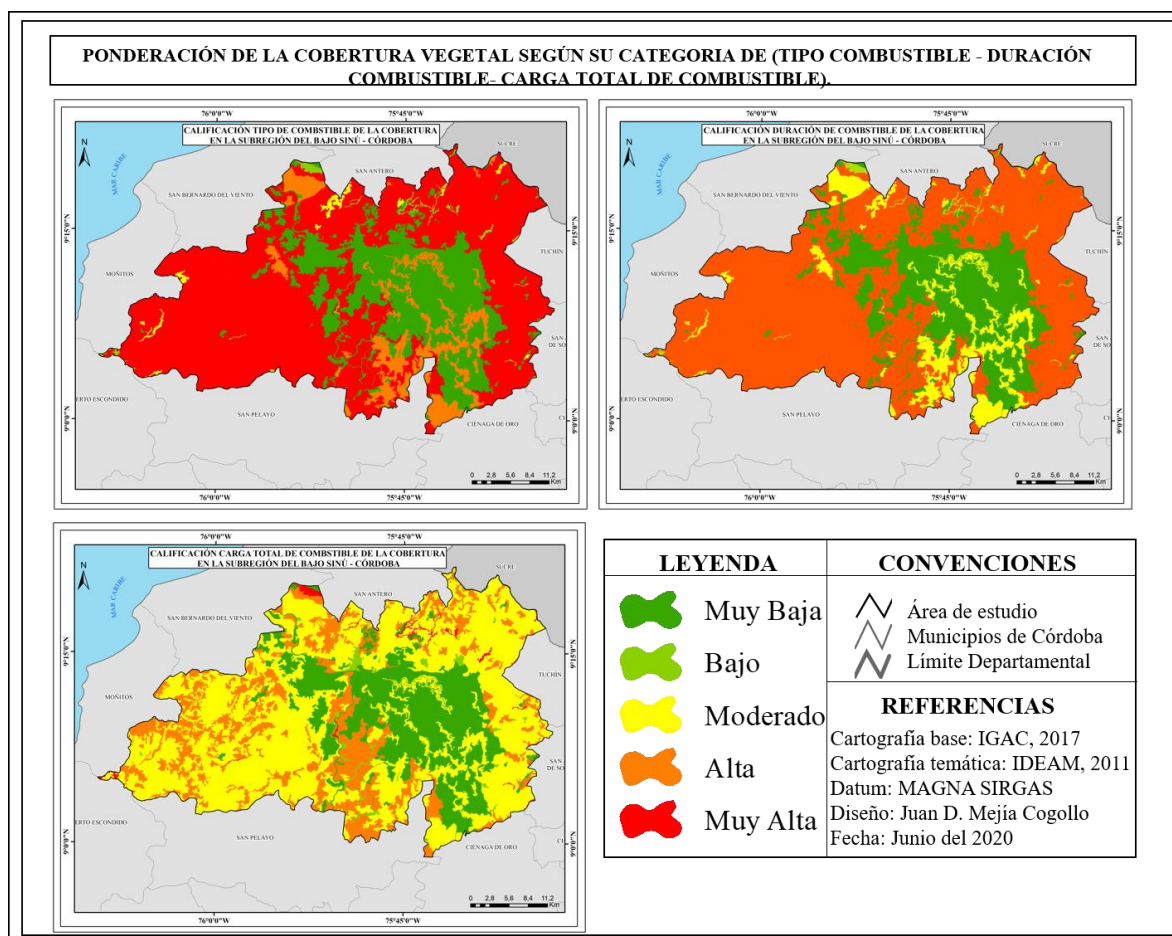




*Figura 6: cálculo del NDMI en la subregión del Bajo Sinú - Córdoba.*

*Fuente: Sentinel 2A - 2020, Elaboración propia.*

Teniendo presente las características intrínsecas de la vegetación “calificación por tipo de combustible, calificación de la duración de los combustibles y calificación de la carga total de combustibles” (figura 7) permitieron establecer la susceptibilidad a incendios en el área de estudio.



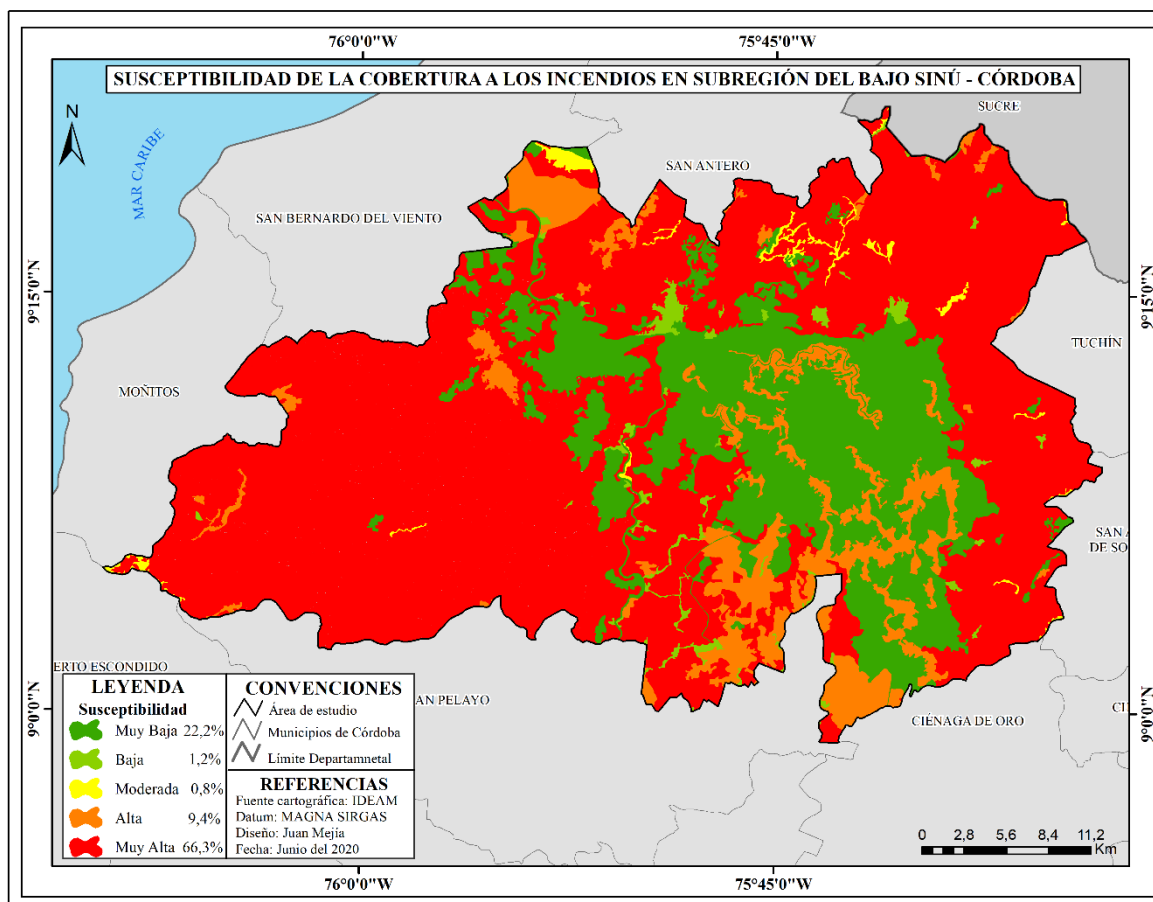
*Figura 7: Calificación ponderada según categoría.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Donde gran parte de la zona de estudio destaca una susceptibilidad muy alta con un área de 105819,8 Ha (66,3%) coberturas que se encuentran en dicha categoría corresponden en gran parte a territorios agropecuarios comprendidos en cultivos transitorios, pastos y áreas agrícolas heterogéneas, sin embargo, también esta acobijada por la categoría de susceptibilidad alta abarcando un área de 14932,8 Ha (9,4%). En la categoría susceptibilidad moderada la se encuentran coberturas de bosques denso y bosques de galerías 1305,9 Ha (0,8%) estos se encuentran relacionados con afluentes hídricos.

En una categoría baja 1989,2 Ha (1,2%) y muy baja 35457,6 (22,2%) susceptibilidad se encuentran coberturas de nivel 1,4 y 5 (figura 8) con poca probabilidad de que se genere un

incendio. Cabe mencionar que estas coberturas están caracterizadas por coberturas de tipo no combustible y con baja calificación en duración de combustible y carga total.



*Figura 8: Mapa de la susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal.*

*Fuente: metodología de incendios del IDEAM 2011, Elaboración propia.*

En otro análisis geográfico, este fenómeno afecta en gran medida el territorio, desatando problemas ambientales, sociales y económicos:

Los incendios de las coberturas vegetales perturban la funcionalidad y dinámica de esta. Trayendo consigo afectaciones a la propiedad y los servicios ambientales como es estado de salud de las planta (vigorosidad) y la calidad del aire. Entre otras consecuencias, un incendio además de acabar con la cobertura vegetal interrumpe o alteran los procesos de descomposición de materia orgánica.

En otro orden de ideas, este problema también conlleva efecto inmediato de los incendios de la cobertura vegetal es la producción de gases y partículas que resultan de la combustión de biomasa y su liberación a la atmósfera. Los gases comúnmente emitidos y que contribuyen al calentamiento global son óxidos de carbono ( $\text{CO}_2$  y  $\text{CO}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ); óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y otros óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ); hidrocarburos alifáticos ( $\text{HC}_a$ ) y aromáticos, como el benceno y otros de naturaleza polinucleada (Haltenhoff, 1998). En ese sentido, la generación de esos gases tiene repercusiones en la atmósfera y por ende acelera los procesos en cambios de temperatura y prolongaciones de sequías largas. El suelo es otro de los recursos naturales que es afectado por los incendios, dado que el fuego aumenta la temperatura de este y acaba con todo los organismo que vivan en él, aumenta el pH, en general un incendio al acabar con la cobertura vegetal expone al suelo a procesos de desertificación y no es conveniente ya que la subregión se realizan prácticas agropecuarias como la ganadería que necesita coberturas de pastos y cultivos transitorios dependientes de suelos con buen material orgánico. También, las cenizas producidas por este fuego en parte son negativas porque fluidos como el viento o las escorrentías las puede conducir hacia afluentes hídricos y contaminar estos, en dicho caso en la zona de estudio hacia el río Sinú y el complejo cenagoso de Lorica.

Considerando lo anterior, este flagelo también causa pérdidas económicas, teniendo en cuenta que la cobertura predominante son pastos con 74180,8 Ha lo que tendría efecto en la producción extensiva de ganado. El fuego también consume las coberturas de cultivos con 37197,2 Ha; a esta última cobertura, suelen realizarles prácticas indebidas, por ejemplo la quema de follaje después del periodo de cultivo, sin embargo, es una mala actividad porque no se le tiene un debido control y a causa de la falta de humedad, vientos y altas temperaturas, pueden incendiarse otras coberturas vegetales. Inclusive, puede generar pérdidas de infraestructura.

### **Conclusión**

En conclusión, ambos procedimientos (cálculo del índice y metodología del IDEAM) determinan la susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal. Es por ello que se necesita hacer monitoreo de muchos aspectos entre ellos el de la susceptibilidad a este fenómeno, que

gracias a los avances tecnológicos la teledetección satelital nos brinda la posibilidad de estudiar dicho fenómeno periódicamente.

Las áreas susceptibles a incendio detectadas por la metodología del IDEAM y las áreas detectadas por el índice concuerdan en su gran mayoría en la zona de estudio, principalmente en la zona oriental, norte y occidental que representan una categoría alta y muy alta susceptibles a un incendio, dado que, las coberturas que se encuentran en esas ubicaciones son de nivel 2 (territorios agrícolas) y 3 (Bosques y áreas seminaturales) en la clasificación Corine Land Cover. Importante mencionar que el índice detectó estrés hídrico en zonas donde el IDEAM no determina una alta susceptibilidad a incendios, por ejemplo en la zona central del área de estudio, o sea, áreas diferentes, esto debido a que el índice tomo coberturas que no corresponden a una cobertura vegetal, como por ejemplo las coberturas de nivel 1, 4 y 5, que podrían ser tejidos urbano, tierras desnudas, áreas quemadas o áreas abiertas con poca vegetación.

En cierta medida en calentamiento global influye como factores fundamentales, puesto que el estrés hídrico de la vegetación depende de las épocas de lluvias y sequías en Colombia. Considerando que estas sequías han estado últimamente en aumento y la probabilidad de los incendios pueden ser mayor con estas sequías, a su vez, los incendios afectan al clima, los ecosistemas, las zonas productivas de ganados y parcelaciones de cultivos, pérdida de servicios ambientales, en fin el habitat en general. Sin embargo, el protocolo de incendios del IDEAM no toma la variable de estrés hídrico que se representa mayormente en épocas de sequías. Resulta útil la implementación de un índice que mida este estrés en la vegetación para estimar dicho fenómeno, por ello conllevaría a un análisis más idóneo de la susceptibilidad de la misma cobertura, no desestimando los aportes de la clasificación del IDEAM en relación al tipo, duración y carga de combustibles.

En conjunto, el papel que tiene la percepción remota satelital y el uso de imágenes satelitales multiespectrales en el monitoreo y predicciones de estos sucesos naturales es importante para la gestión del territorio a cargo de las entidades locales. Finalmente, la aplicación y el uso de las tecnologías de la información geográfica son de gran utilidad para analizar el espacio y los fenómenos que en el ocurren.

## Referencias Bibliográficas

- Alarcón, J. y Pabón, J. (2013). *El cambio climático y la distribución espacial de las formaciones vegetales en Colombia*. Colombia forestal, 16(2), 2-15.
- Antognelli, S. (2011). *indici di vegetazione ndvi e ndmi: istruzioni per l'uso*. Obtenido de AGRICOLUS: <https://www.agricolus.com/indici-vegetazione-ndvi-ndmi-istruzioni-luso/>
- CEPAL. (2012). *Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: Vulnerabilidad y exposición*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Chavez Jr, (1996). *Image-based atmospheric corrections-revisited and improved. Photogrammetric engineering and remote sensing*.
- Chuvieco, E. (1992). *Teledetección, SIG y cambio global*. Dialnet, 1 - 2.
- CVS. (Abril de 2016). *Corporación Autónoma Regional de Los Valles del Sinú y del San Jorge*. Recuperado de Plan de acción institucional 2016 - 2019: [https://cvs.gov.co/web/wp-content/docs/PAI\\_2016\\_2019.pdf](https://cvs.gov.co/web/wp-content/docs/PAI_2016_2019.pdf)
- Franzpc. (30 de 10 de 2019). *ARCGeeK*. Obtenido de Lista de índices espectrales en Sentinel 2 y Landsat: <https://acolita.com/lista-de-indices-espectrales-en-sentinel-2-y-landsat/>
- Gao, B. (1996). *NDWI: Una diferencia de índice de agua normalizada para la percepción remota del agua líquida de la vegetación desde el espacio*. Teledetección del medio ambiente, 257-266.
- Giglio, L. R. (2010). *Assessing variability and long-term trends in burned area by merging multiple satellite fire products*. Biogeosciences, 14 - 16.
- Gobernación de Córdoba. (s.f). *Plan departamental para la gestión de riesgo en Córdoba*. Obtenido de Gention\_de\_Riesgo.gov: Recuperado de <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/367/PDGR%20Cordoba.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gómez, A. (2009). *evaluación del grado de amenaza total por incendios de la cobertura vegetal en la jurisdicción de la corporación autónoma regional de Cundinamarca*. Bogotá D.C.: U.D.C.A.
- Haltenhoff, H. (1998). *"El impacto del fuego sobre el medio ambiente"*. Chile: CONAF.
- Hernández, B. H. (Bogotá D.C. de Diciembre de 2019). *Lo que usted debe saber sobre incendios de cobertura vegetal*. Recuperado de Gestion\_de\_Riesgo.go: [https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28309/Cartilla\\_Incendios\\_2019-.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28309/Cartilla_Incendios_2019-.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

- IDEAM. (2002). *Incendios*. Obtenido de documentación IDEAM:  
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/010239/INCENDIOS.pdf>
- IDEAM. (2011). *Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgo a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000*. Bogotá D.C.
- Méndez, G. A. (10 de Enero de 2020). *La sequía golpea a 16 municipios y 10 mil familias de Córdoba*. El Tiempo.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (27 de 08 de 2011). Obtenido de *Estrategia de corresponsabilidad social en la lucha contra los incendios forestales*:  
[https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Los-Incendios-Forestales/250414\\_estrategia\\_corres\\_social.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Los-Incendios-Forestales/250414_estrategia_corres_social.pdf)
- Mouillot, F. y Field, C. (2005). *Fire history and the global carbon budget: a 1°× 1° fire history reconstruction for the 20th century*. Global Change Biology.
- Organización de las naciones unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO (2007). *Evaluación del Fuego en la Región de Latinoamérica: Mesoamérica, Caribe y América del Sur*. Sevilla: In International Forest Fire News (Vol. 36).
- Organización Meteorológica Mundial. (22 de 09 de 2019). *El clima mundial: entre 2015 y 2019 se ha acelerado el cambio climático*. Recuperado de Organización Meteorológica Mundial: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-clima-mundial-entre-2015-y-2019-se-ha-acelerado-el-cambio-clim%C3%A1tico>
- Parra, A. et al. (2011). *Incendios de la cobertura vegetal en Colombia*. Cali: Universidad Autónoma de Occidente.
- Renata, J y Gracia M. (1998). Incendios forestales ¿La solución problema es reforestar? *Ecofronteras*, 5:14-18.
- Wang, L., Hunt Jr, E. R., Qu, J. J., Hao, X., & Daughtry, C. S. (2011). *Towards estimation of canopy foliar biomass with spectral reflectance measurements*. *Remote Sensing of Environment*, 115(3), 836-840.